

« PULVE BY NIGHT »

GY-L'EVEQUE - le 24 septembre 2025

- la qualité de pulvérisation
- l'innovation en pulvérisation

Richard WYLLEMAN

Conseiller d'entreprise en agroéquipements

06 07 81 46 45 / r.wylleman@yonne.chambagri.fr

1. La qualité de pulvérisation

Qu'est-ce que la pulvérisation ?

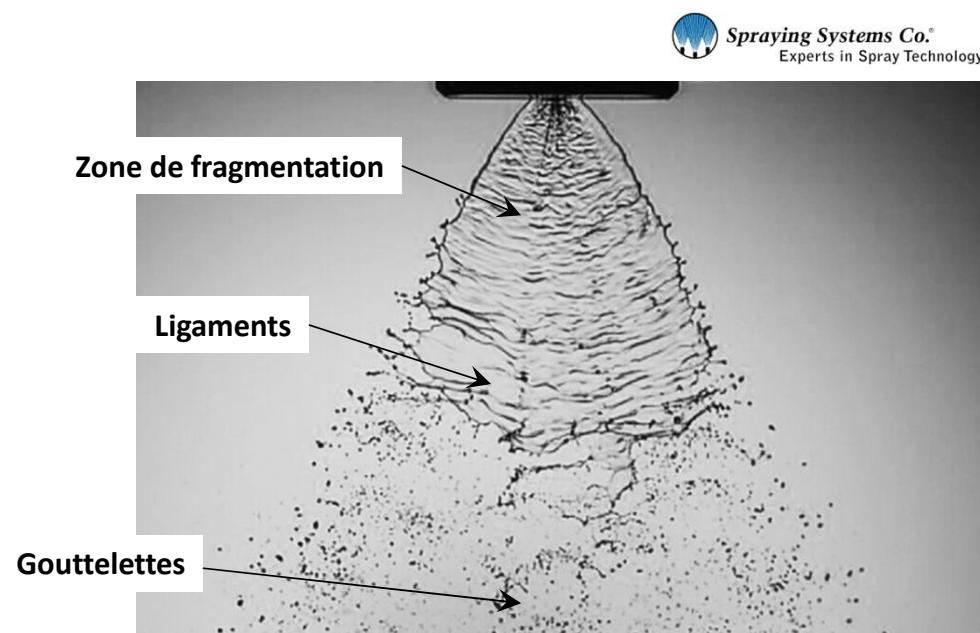
C'est l'action de **transformer par fractionnement un volume d'eau (la bouillie) en un nombre de gouttelettes spécifiques** et les transporter à la cible

Comment se forment les gouttelettes ?

La gouttelette est un sous produit de l'atomisation, qui consiste à **forcer le passage d'un liquide à travers l'orifice de sortie de la buse**.

Ce liquide sort sous forme de petits ligaments.

Ces ligaments ondulent violemment et se fractionnent ensuite en de très petits « fragments » appelés gouttelettes.



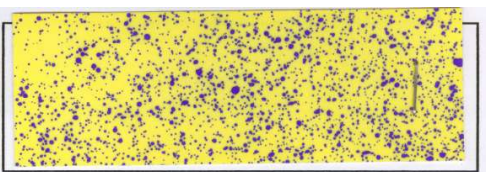
Source : Spray Analysis and Research Services (a service of Spraying Systems Co.)

1. La qualité de pulvérisation

La buse est un élément clé de la réussite d'un traitement



Spectre de pulvérisation
révélé au papier hydro-sensible

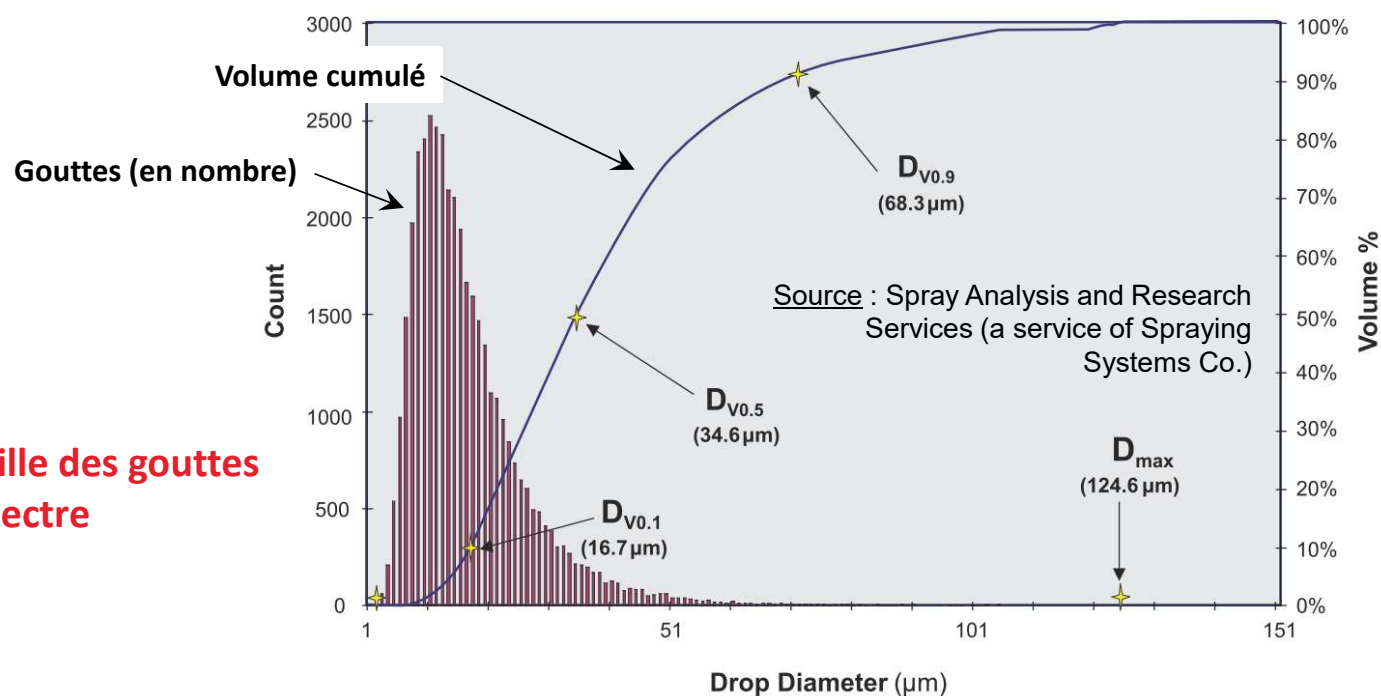


Source :Chambre d'Agriculture
de l'Yonne

Taille des gouttes
Spectre

Elle permet l'application d'un **volume précis** avec une **finesse des gouttes déterminée**, le **transport** et la **répartition** sur la surface à traiter

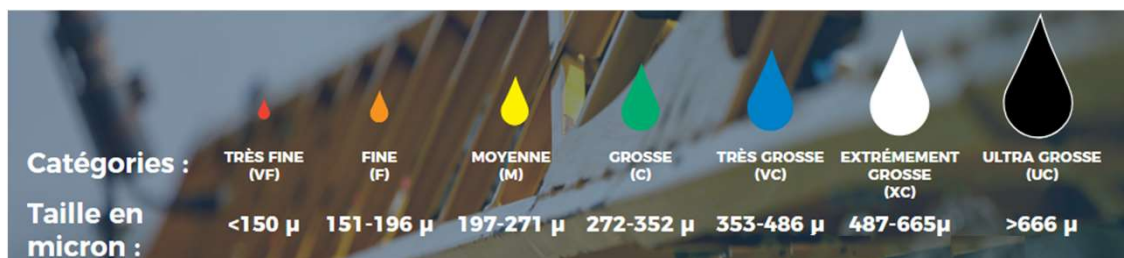
Distribution classique de la taille des gouttes



1. Qualité de pulvérisation

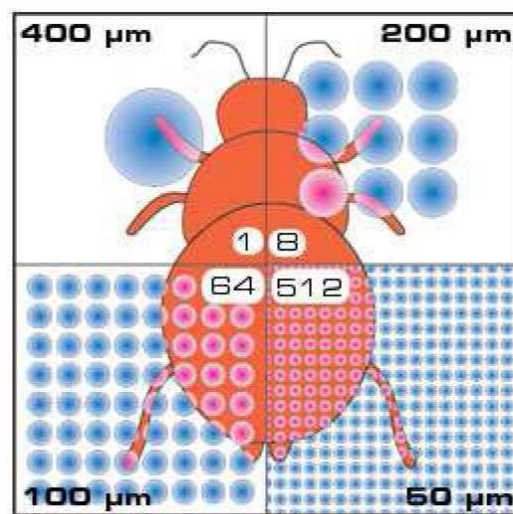
La taille de la goutte définit ses propriétés (durée de vie, temps de chute, dérive, ...)

Classification ISO des tailles de gouttelettes



Source : TEEJET Technologies

Couverture sur la cible



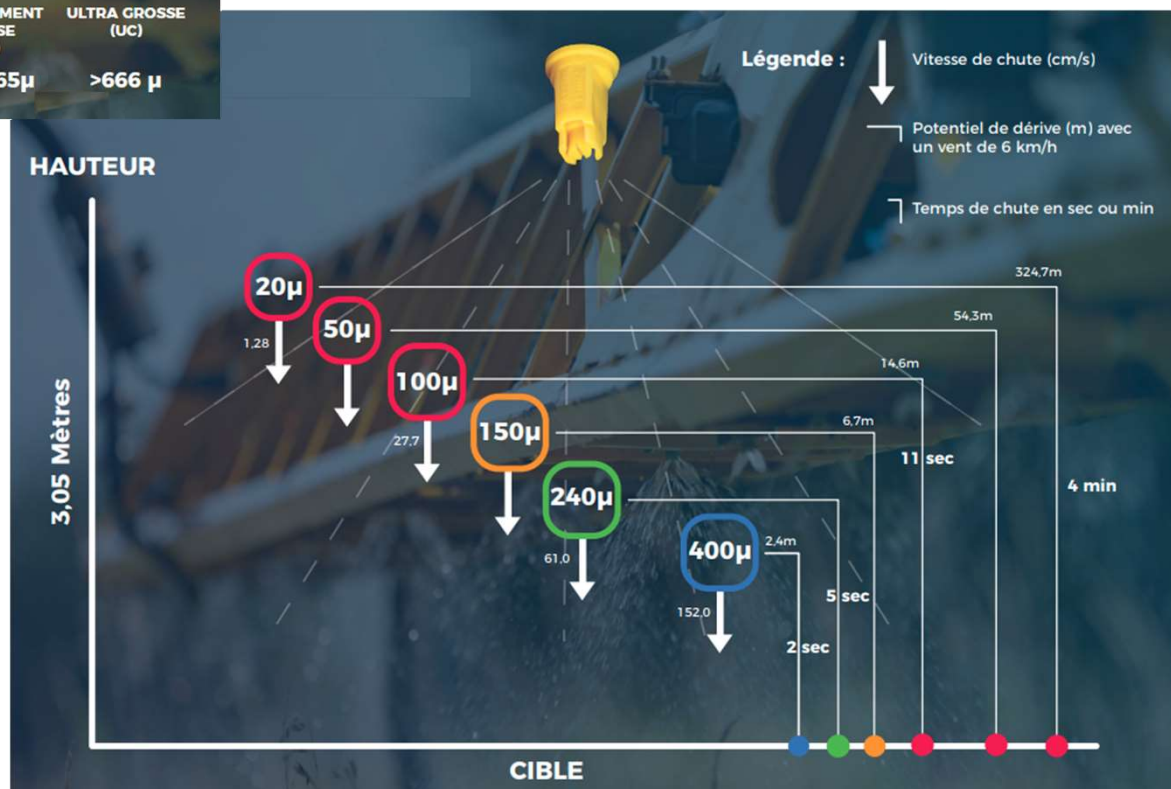
diamètre des gouttes
divisé par 2

nombre de gouttes
multiplié par 8

surface couverte
multipliée par 2

Source : Arvalis – institut du végétal

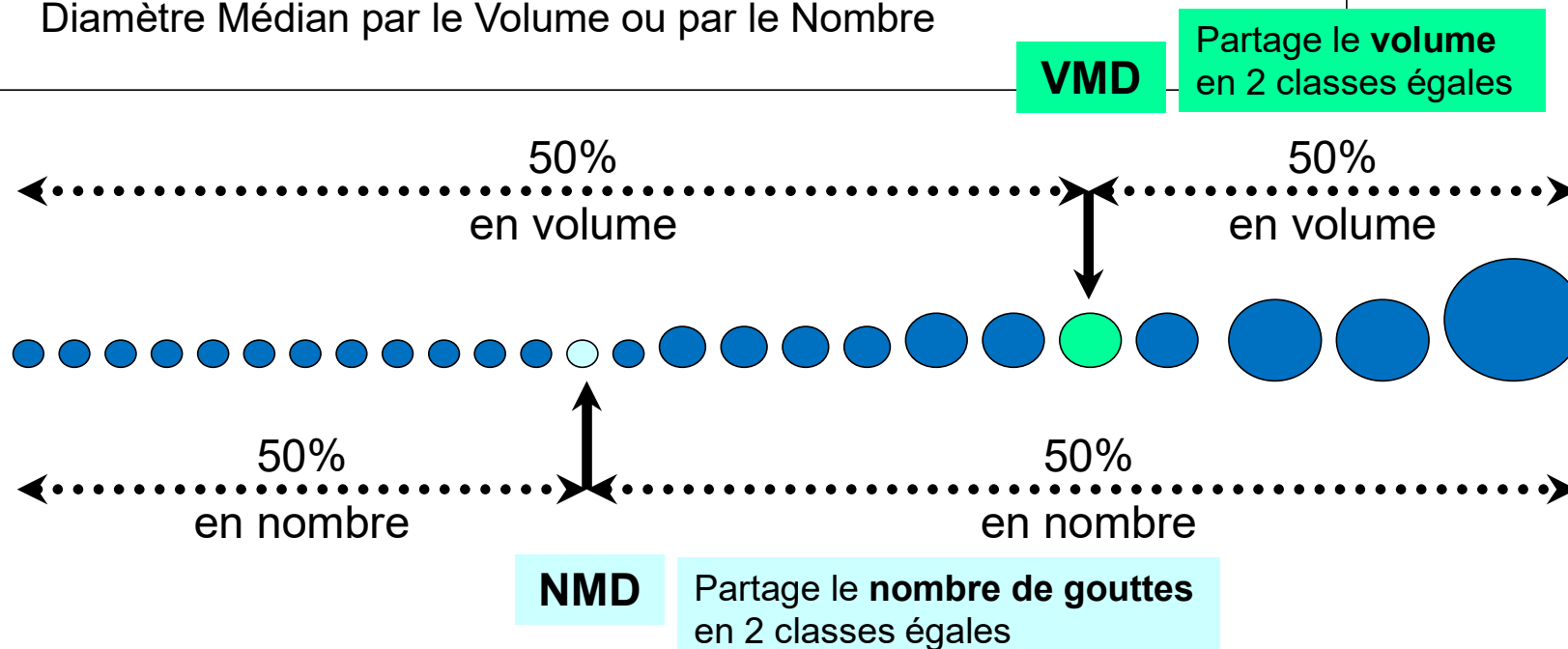
Comportement dans l'air



1. La qualité de pulvérisation

Le **NMD** et le **VMD** caractérisent le **spectre de pulvérisation**

- La finesse des gouttes se mesure avec un banc Laser MALVERN 2600
- Diamètre Médian par le Volume ou par le Nombre



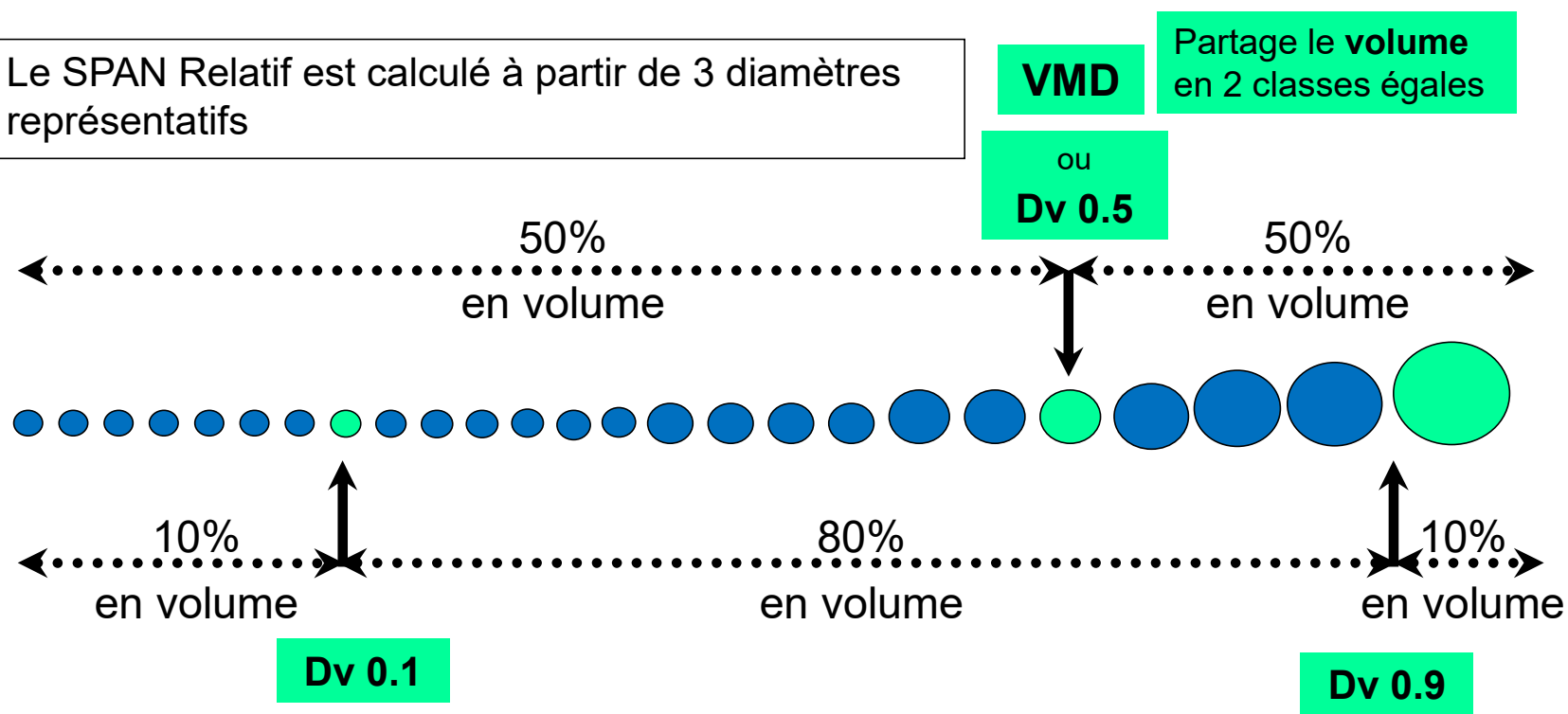
Rapport VMD / NMD le plus proche possible de 1 = **spectre de gouttes homogène**

TECNOMA Girojet : 1.2 à 3 / Buse à fente classique : 2 à 8 / Buse à miroir 4 à 12

1. La qualité de pulvérisation

Le Facteur **SPAN Relatif** traduit l'**homogénéité** du **spectre de pulvérisation**.

- Le SPAN Relatif est calculé à partir de 3 diamètres représentatifs



Rapport $\frac{(Dv0.9 - Dv0.1)}{VMD}$ le plus faible possible = spectre de gouttes homogène

1. La qualité de pulvérisation

A calibre identique, les **différents modèles de buses** se différencient par leur **spectre de pulvérisation**.

Buse : TEEJET 110° calibre 03 (bleu)

Pression en bar	Caractérisation du spectre de pulvérisation			Facteur SPAN Relatif (RSF)
	XR	AIXR	AI	
1.0	329	658		
1.5	290	560		
2.0	267	485	690	1.08
2.5	252	427	624	
3.0	241	382	569	1.41
3.5	232	348	522	
4.0	225	322	482	1.37
4.5	219	302	449	
5.0	214	287	420	
5.5	210	275	396	
6.0	206	266	376	
6.5			359	
7.0			344	
8.0			322	

Source : TEEJET

Effet « type
de buse »



TEEJET **XR** 110° calibre 03
Buse basse pression



TEEJET **AIXR** 110° calibre 03
Buse injection d'air basse pression

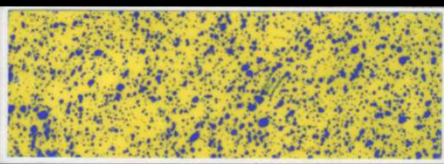


TEEJET **AI** 110° calibre 03
Buse injection d'air 1^{ère} génération

1. La qualité de pulvérisation

Pour un **volume donné**, il est possible de **distinguer** les **types de buses** par la **taille** et le **nombre de gouttes**.

TEEJET XR cal. 02

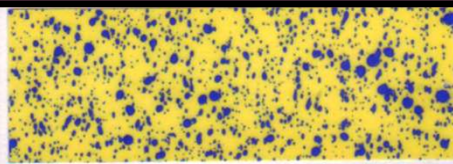
2.0 bars 8,6 km/h	100 litres/ha	
----------------------	---------------	--

bas pression

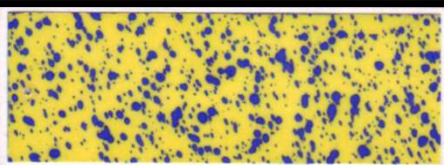
Référentiel « empreintes de buse »
Loïc DEVEYER
CA 61 / Unité Agro-PV

à pastille de calibrage

ALBUZ ADI cal. 02

2.0 bars 8,6 km/h	100 litres/ha	
----------------------	---------------	---

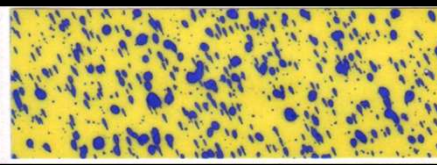
ALBUZ CVI cal. 02

2.5 bars 9,4 km/h	100 litres/ha	
----------------------	---------------	---

à injection d'air basse pression

à injection d'air 1^{ère} génération

ALBUZ AVI cal. 02

3.0 bars 10,4 km/h	100 litres/ha	
-----------------------	---------------	---

1. La qualité de pulvérisation

Plus le calibre d'une buse est petit, plus le spectre de pulvérisation se caractérise par des gouttes de tailles réduites et diversifiées

Buse : TEEJET XR 80° à 2 bar

Calibre		Caractérisation du spectre de pulvérisation			Facteur SPAN Relatif (RSF)
		Dv 0.1	Dv 0.5 (ou VMD)	Dv 0.9	
Orange	01	121	227	389	1.18
Vert	015	139	260	430	1.12
Jaune	02	157	289	462	1.06
Lilas	025	?	?	?	?
Bleu	03	175	318	498	1.02
Rouge	04	192	352	557	1.04
Marron	05	204	390	618	1.06
Gris	06	223	426	698	1.12
Blanc	08	236	467	765	1.13

Source : TEEJET

Effet
« Calibre »



TEEJET XR 80°
disponible en 10 calibres différents
Buse basse pression

1. La qualité de pulvérisation

A pression et calibre identiques, les **buses 110°** produisent **davantage de fines gouttes** que les buses 80° et se caractérisent par un **spectre de pulvérisation moins homogène**.

Buse : TEEJET XR calibre 02 (jaune) à 2 bar

Angle	Caractérisation du spectre de pulvérisation		
	Dv 0.1	Dv 0.5 (ou VMD)	Dv 0.9
80	157	289	462
110	121	243	393

Source : TEEJET

Effet « Angle
de dispersion »

Facteur SPAN Relatif (RSF)
1.06
1.12



TEEJET XR 80° ou 110° calibre 02
Buse basse pression

1. La qualité de pulvérisation

Plus la pression d'utilisation est **élevée**, **plus** le spectre de pulvérisation perd en homogénéité et se caractérise par des **gouttes de tailles réduites**

Buse : TEEJET XR 80° calibre 02 (jaune)

Pression en bar	Caractérisation du spectre de pulvérisation			Facteur SPAN Relatif (RSF)
	Dv 0.1	Dv 0.5 (ou VMD)	Dv 0.9	
1.0	177	354	541	1.03
1.5	166	313	493	1.04
2.0	157	289	462	1.06
2.5	148	273	440	?
3.0	140	261	422	1.08
3.5	133	252	408	1.09
4.0	126	244	396	1.11
4.5	120	238	385	1.11
5.0	115	233	376	1.12
5.5	110	228	368	1.13
6.0	106	224	361	1.14

Source : TEEJET

Effet
« Pression »



TEEJET XR 110° calibre 02
Buse basse pression

1. La qualité de pulvérisation

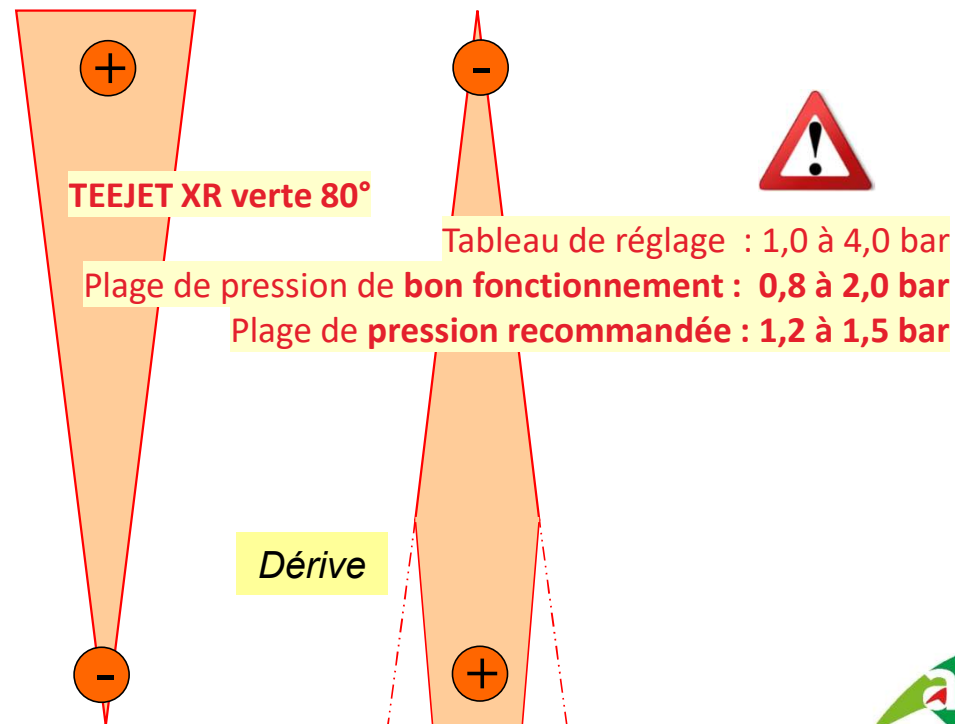
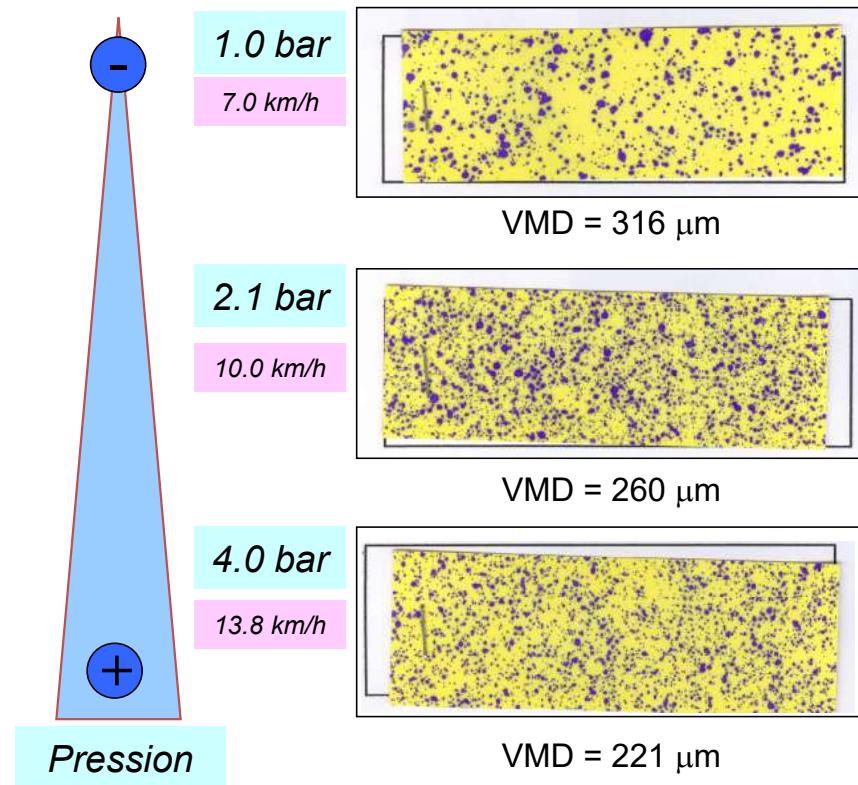
La **pression** est l'autre **élément clé de la réussite** d'un traitement. Elle permet le **bon fonctionnement de la buse**. Elle agit sur le **nombre** et la **taille des gouttes**

Buse à fente « basse pression »
calibre 015 / verte
80°

Volume 60 l/ha

Taille des gouttes

Nombre de gouttes



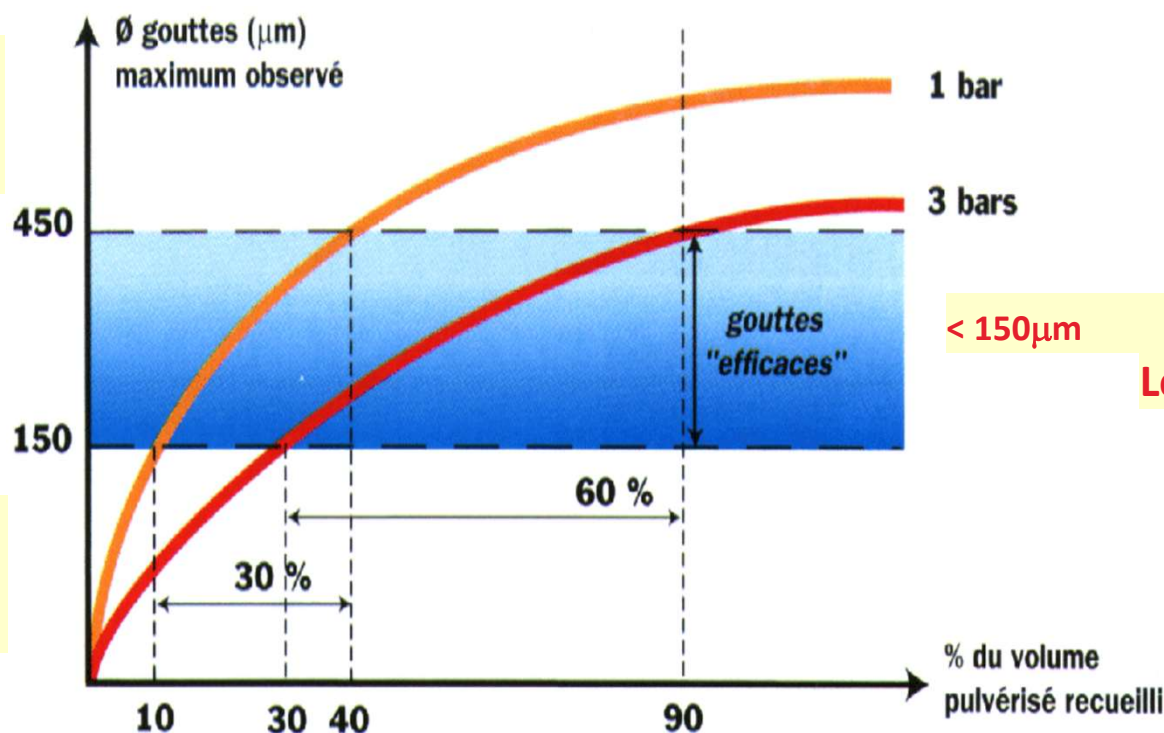
Source : CA 89 / Tests PHS - 09 avril 2009

1. La qualité de pulvérisation

La **pression** est l'autre **élément clé de la réussite** d'un traitement. Adaptée, elle permet le **bon fonctionnement de la buse**, générant un **volume formé de gouttes efficaces plus important**

Ruissellement
Couverture réduite

Dérive
Evaporation



< 150 μm 150-450 μm > 400 μm
Le bon compromis

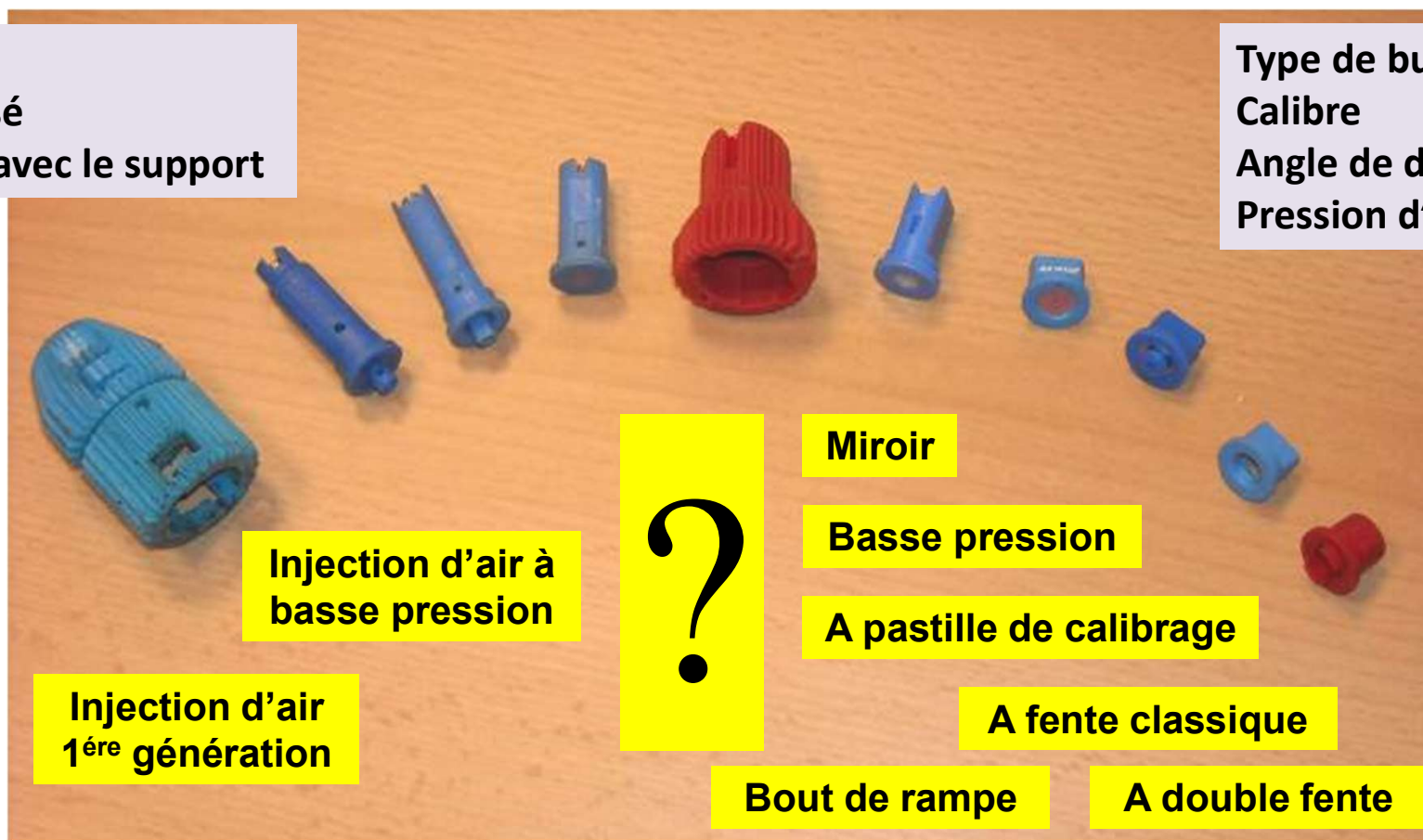
L'augmentation de pression (de 1 à 3 bars) permet le bon fonctionnement de la buse ; le volume de gouttes « efficaces » est multiplié par 2 (de 30% à 60%)

1. La qualité de pulvérisation

L'offre commerciale est large et diversifiée. Les critères de choix sont nombreux.

Marque
Matériau utilisé
Compatibilité avec le support

Type de buse
Calibre
Angle de dispersion
Pression d'utilisation



1. Qualité de pulvérisation

Qu'est-ce qu'une bonne qualité de pulvérisation ?

Une qualité de pulvérisation qui permet de **réussir son traitement**

- Un **nombre de gouttes suffisant**
 - Une **répartition homogène** des gouttes
 - Une pulvérisation qui **limite les pertes de bouillie** (limitation de la dérive)
- pour assurer une bonne couverture



ou



1. Qualité de pulvérisation

Les buses : la bonne combinaison

Un **choix de buses judicieux** (modèle, calibre, angle, ...) permet de **répondre** à des **situations au champ très différentes**.

60 l/ha à 12 km/h - 1.8 bar



100 l/ha à 12 km/h - 2.0 bar



Crédits photos : TeeJet

110 l/ha à 10 km/h - 2.5 bar



110 l/ha à 9 km/h - 2.0 bar

110 l/ha à 13 km/h - 4.0 bar

110 l/ha à 8 km/h - 1,5 bar

**Buse basse pression
à large plage d'utilisation**

XR 80° calibre 02 - jaune

1.5 à 2.5 bar

en bonnes conditions

**Buse basse pression
à large plage d'utilisation**

XR 110° calibre 03 - bleu

1.5 à 2.5 bar

en bonnes conditions

**Buse à injection d'air
basse pression (seconde génération)**

AIXR 110° calibre 025 - lilas

1.5 à 2.0 bar pour réduction ZNT (réduction de dérive de 75 à 66%)

2.0 à 3.0 bar en conditions défavorables

3.0 à 5.0 bar en bonnes conditions

TTI 110° calibre 025 - lilas

1.5 bar pour réduction ZNT (réduction de dérive de 90%)



Type de produit

(contact, systémique, racinaire)

Type de cible

(étroite, large)

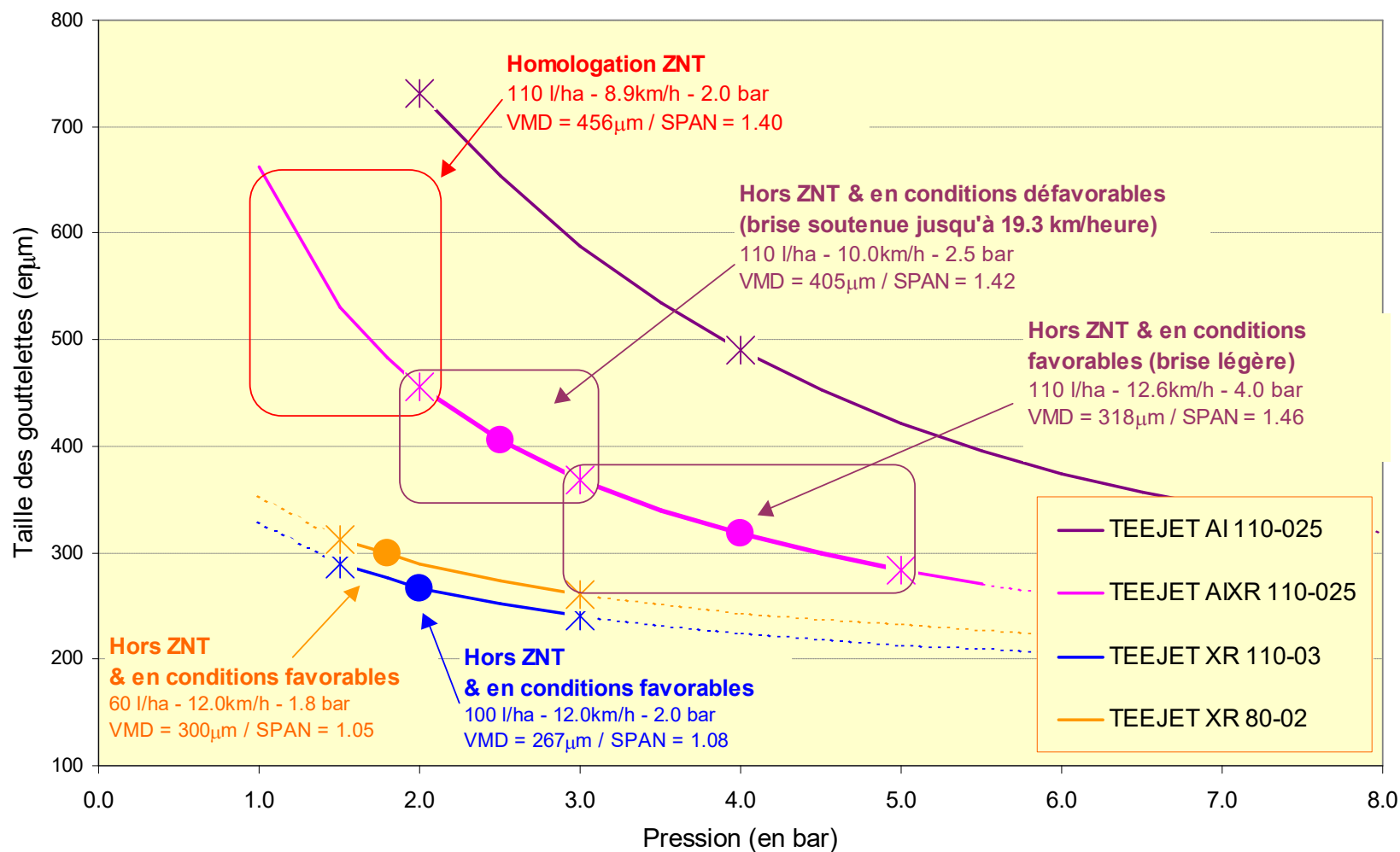
Conditions d'application

(vent, température, hygrométrie, humidité du sol)

1. Qualité de pulvérisation

Choix d'une buse pour la réduction des ZNT & Qualité de pulvérisation

Taille des gouttelettes en μm pour différents types de buses ISO / Source : TEEJET



1. Qualité de pulvérisation



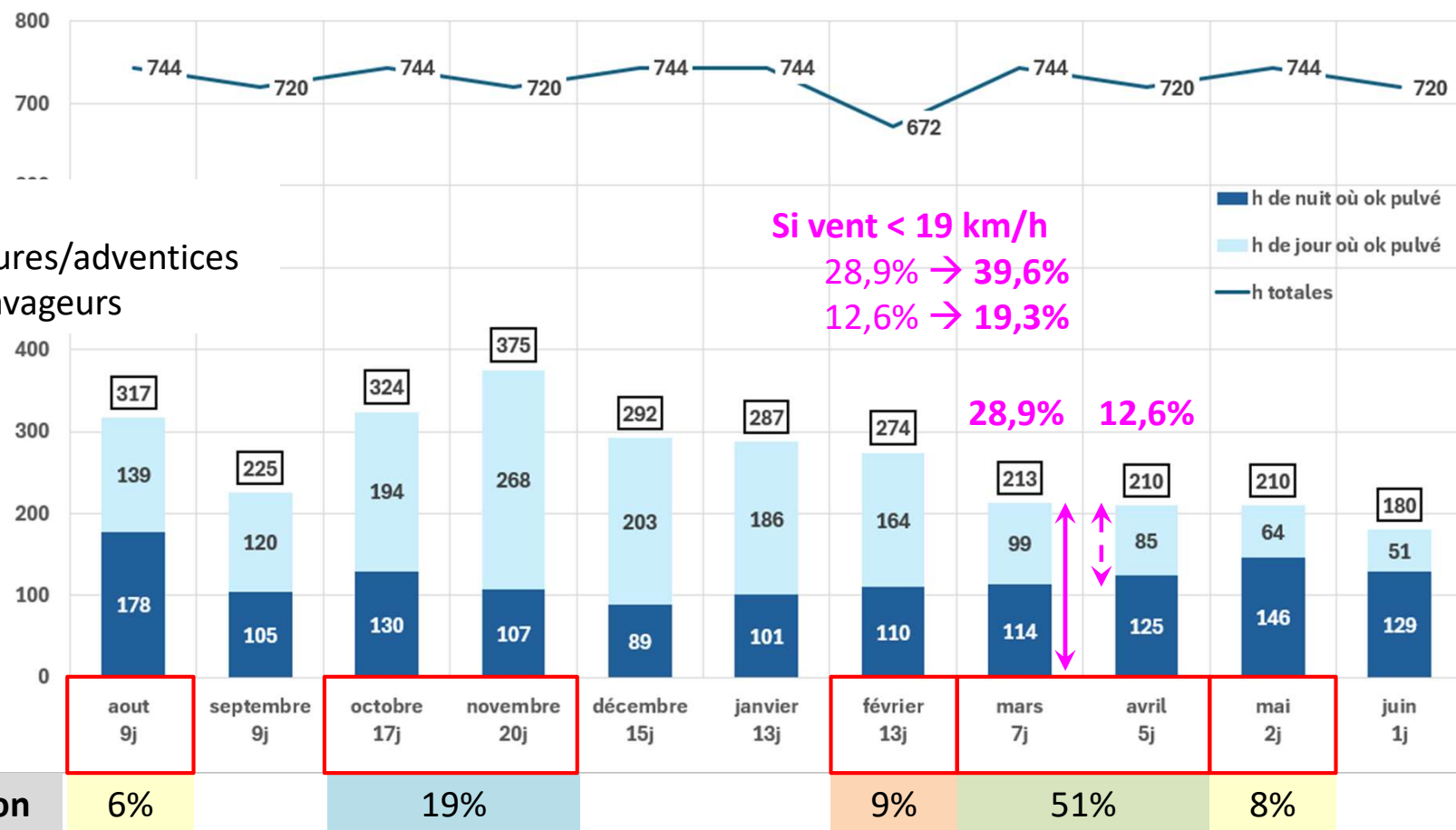
État du sol
Stades cultures/adventices
Présence ravageurs

Jours et heures mensuelles disponibles pour la pulvérisation

Données Météo France campagne 2024-2025 / poste Auxerre-Perrigny

Hypothèses pour "pulvé ok": **Hygrométrie > 75%** - **Précipitations = 0 mm** dans l'heure & **Vent < 9 km/h**

Horaires de jour : de 6h à 22h / 1 jour disponible = au moins 6 heures "pulvé ok"



1. Qualité de pulvérisation

Qualité de pulvérisation : taille, nombre & répartition des gouttes

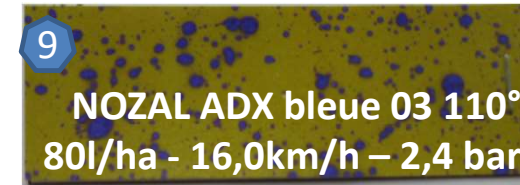
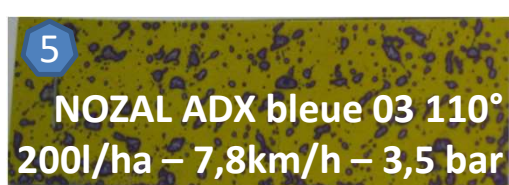
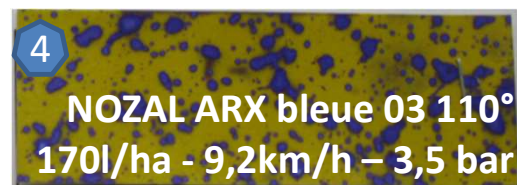
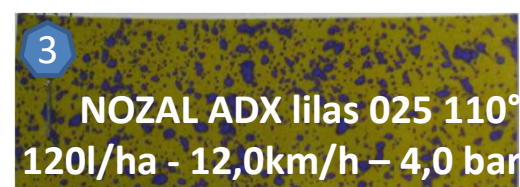
La qualité de pulvérisation est appréciée en fonction de la **taille**, du **nombre** et de la **répartition des gouttes** atteignant la cible.

⇒ Spectre de pulvérisation

réalisation de tests aux papiers hydro-sensibles

Papiers hydro-sensibles
réalisés en conditions réelles
de traitement au champ / Mai 2018

Exemples « terrain »



**Large éventail
de gouttelettes
et de couvertures**

1. Qualité de pulvérisation

Buses, pression & volume : pratiques d'utilisation (buse à fente exclusivement)

Les paramètres de pulvérisation **Pression**, **Vitesse** et **Volume de bouillie /ha** dépendent du **type de buse utilisé**.



Buse	Pression (bars) Effet Significatif	Vitesse (km/h) Effet Significatif	Volume (l/ha) Effet Significatif
Fente classique standard	2.2	11.6	114
Fente classique basse pression	2.0	12.0	89
Pastille de calibrage	2.5	11.5	111
Injection d'air classique	3.5	10.5	121
Injection d'air basse pression	2.9	10.8	132
Buse miroir	2.3	11.4	104

Anova significative à 5%

La pulvérisation en grandes cultures :
mieux connaître vos pratiques pour
mieux répondre à vos besoins

Source : ARVALIS Institut du végétal

1. La qualité de pulvérisation

Le choix du pulvérisateur et de ses équipements, leur maintien en bon état, leur réglage et leur bonne utilisation sont les clés d'une pulvérisation de qualité

■ Performances du matériel

- jauge ou compteur de remplissage précis, circulation continue & volume résiduel maîtrisé, régulation par capteur de pression ou débitmètre à large plage d'utilisation, fonction de gestion automatique des demi-tours, jeux de buses et filtres adaptés, suspension du pulvérisateur, de la rampe, régulation, ...

■ Etat du matériel

état d'usure des buses, tuyaux et raccordements, filtres, rampe, articulations, suspension ...

■ Réglage & Utilisation du matériel

● La buse

(type, angle du jet, calibre, écartement entre buses, décalage des jets, ...)

● La pression

● La hauteur de rampe

● La vitesse du pulvérisateur

La **taille** & le **nombre** de gouttes

La **répartition** des gouttes



2. L'innovation en pulvérisation

Les porte-buses : types et caractéristiques

« Classique »

- Nombre de jets (1 à 5)



Crédit photo : Matériel agricole

AMAZONE :

AmaSwitch (coupure électrique des buses / en quadri jet)
Extension pour pulvérisation à 25cm

- Sélection automatique des buses
(électrique, pneumatique, 2 à 4 buses)

Crédit photo : Entraid

HARDI-EVRARD :

OptiSpray ou Duo Spray
(sélection automatique des buses)



AMAZONE :

AmaSelect
(sélection automatique des buses)



Crédit photo : Réussir / L'Action Agricole Picarde

TECNOMA :

VarioSelect
(sélection automatique des buses)

2. L'innovation en pulvérisation

Les porte-buses : types et caractéristiques

« Classique »

- Sélection automatique des buses

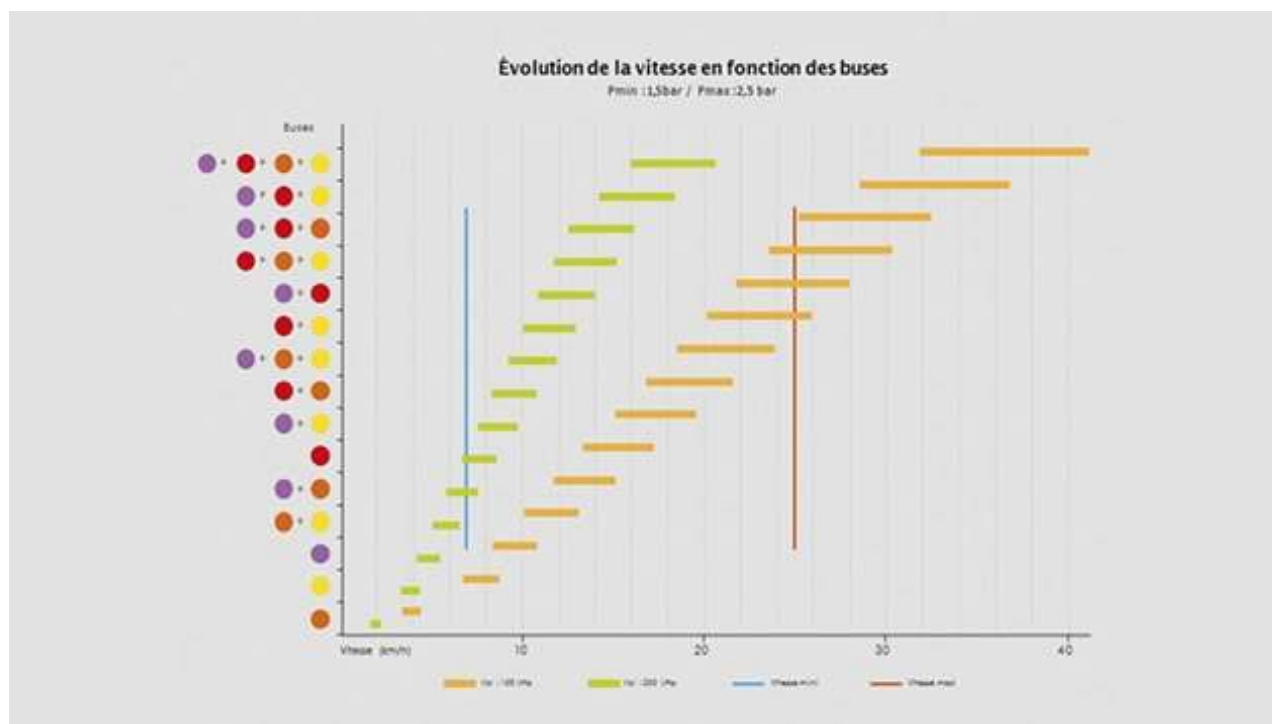
sélection des buses **depuis la cabine**
adaptation en fonction de la **vitesse de travail**
 adaptation en fonction du **volume/ha**



HARDI-EVRARD :

OptiSpray

(sélection automatique des buses)



2. L'innovation en pulvérisation

Les porte-buses : types et caractéristiques

« Classique »

- Sélection automatique des buses



Objectif

Conserver un spectre de pulvérisation le plus régulier possible (être le plus longtemps possible dans la bonne plage d'utilisation de la buse)

HARDI-EVRARD :
OptiSpray
(sélection automatique des buses)

Tests de pulvérisation

Source : Chambre d'Agriculture de l'Orne

Volume de bouillie	Vitesse d'avancement en km/h	Pression en bars	Calibre requis	Buses enclenchées	Buses Basse pression
					TEEJET
100 litres/ha	8	1,4	110025	110025	XR Calibre 01-015-02-025 - plage de régul autorisée de 1,5 à 2 bars
	12	2	11003	11001+11002	
	16	1,75	110045	11001+110015+110025	
	20	2	11005	110015+11002+110025	
	25	2,25	11006	110015+11002+110025	

2. L'innovation en pulvérisation

Les porte-buses : types et caractéristiques

« Classique »

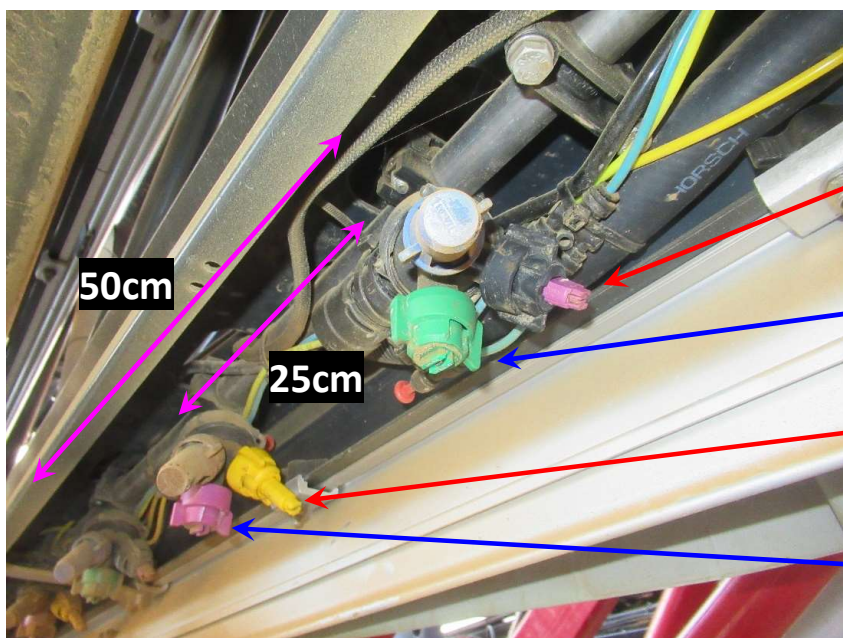
- **Sélection automatique des buses**
(électrique, pneumatique, 2 à 4 buses)

Crédit photo : Chambre d'agriculture 89

HORSCH :

Autoselect

(sélection automatique des buses avec réglage automatique de la hauteur de rampe)



TEEJET AIXR lilas 025 110°
(injection d'air basse pression)

TEEJET XR verte 015 80°
(basse pression)

TEEJET AI jaune 02 80°
(injection d'air 1^{ère} génération)

TEEJET XR lilas 025 80°
(basse pression)

2. L'innovation en pulvérisation

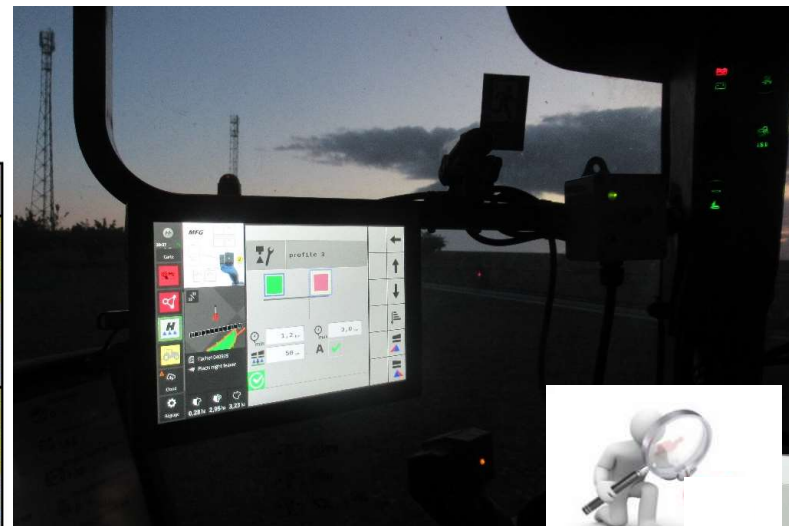
Pulvérisateur

HORSCH	Largeur de rampe	36 m		
Leeb 4 LT	Ecartement entre buses	0,5 m	ou	0,25 m
	Nombre de buses	72 buses	ou	144 buses
	Volume de bouillie choisi	80 l/ha		

Marque / modèle	Angle	Calibre		Ecartement cm	Pression bar	Débit à la buse l/min		Débit total l/min	Vitesse d'avancement km/h
TEEJET XR	80°	015	verte	50cm	1,0	0,34		24,48	5,1
TEEJET XR	80°	015	verte	50cm	1,5	0,42		30,24	6,3
TEEJET XR	80°	015	verte	50cm	2,0	0,48		34,56	7,2
TEEJET XR	80°	015	verte	50cm	2,5	0,54		38,88	8,1
TEEJET XR	80°	015	verte	50cm	3,0	0,59		42,48	8,9
TEEJET XR	80°	015	verte	50cm	4,0	0,68		48,96	10,2
TEEJET XR	80°	025	lilas	50cm	1,0	0,57		41,04	8,6
TEEJET XR	80°	025	lilas	50cm	1,5	0,70		50,40	10,5
TEEJET XR	80°	025	lilas	50cm	2,0	0,81		58,32	12,2
TEEJET XR	80°	025	lilas	50cm	2,5	0,90		64,80	13,5
TEEJET XR	80°	025	lilas	50cm	3,0	0,99		71,28	14,9
TEEJET XR	80°	025	lilas	50cm	4,0	1,14		82,08	17,1
TEEJET XR	80°	015 + 025	verte + lilas	25cm	1,0	0,34	0,57	65,52	13,7
TEEJET XR	80°	015 + 025	verte + lilas	25cm	1,5	0,42	0,70	80,64	16,8
TEEJET XR	80°	015 + 025	verte + lilas	25cm	2,0	0,48	0,81	92,88	19,4
TEEJET XR	80°	015 + 025	verte + lilas	25cm	2,5	0,54	0,90	103,68	21,6
TEEJET XR	80°	015 + 025	verte + lilas	25cm	3,0	0,59	0,99	113,76	23,7
TEEJET XR	80°	015 + 025	verte + lilas	25cm	4,0	0,68	1,14	131,04	27,3

Taille ds gouttelettes		M	F	F	F	M	F	F	M	F	F	M	F	M	F	F	F	F	F
Pression (bar)		1,0	1,5	2,0	2,5	1,0	3,0	4,0	1,5	2,0	2,5	1,0	3,0	1,5	4,0	2,0	2,5	3,0	4,0
Vitesse d'avancement pour 80l/ha	XR verte	5,1	6,3	7,2	8,1	8,9	10,2												
	XR lilas					8,6	10,5	12,2	13,5	14,9	17,1								
	XR verte + lilas									13,7	16,8	19,4	21,6	23,7	27,3				
Hauteur de rampe		75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	40	75	40	40	40	40	40	40

Crédit photo : Chambre d'agriculture 89



Définition de « profile »

Buse utilisée

Pression min / pression maxi

Hauteur de rampe



2. L'innovation en pulvérisation

Les porte-buses : types et caractéristiques

A pulsation (Buses à pulsation ou PWM = Pulse Width Modulation)

Débit de la buse modulé en modifiant la durée du cycle d'alimentation (= duty cycle) grâce à un **solénoïde** monté sur chaque porte-buses qui contrôle l'ouverture et la fermeture des buses

Possible de maintenir une pression de fonctionnement optimale tout en faisant varier la vitesse de travail ou le volume de bouillie /ha.



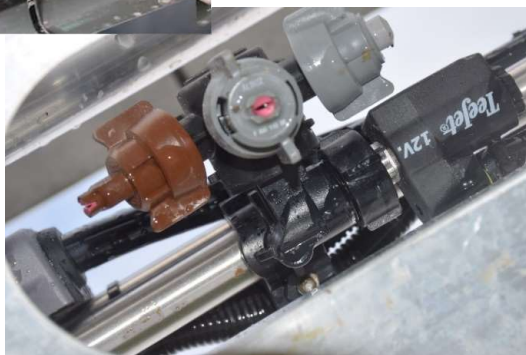
Crédit photos : REUSSIR Machinisme

RAVEN Hawkeye

TEEJET DynaJet Flex

Systèmes adaptables

Montages d'usine (**BERTHOUD, ARTEC, ...**)



La même buse de 8 à 18km/h
ALBUZ AVI rouge 110



2. L'innovation en pulvérisation

Les porte-buses : types et caractéristiques

A pulsation (Buses à pulsation ou PWM = Pulse Width Modulation)

DÉBIT : une régulation par la durée d'ouverture de la buse

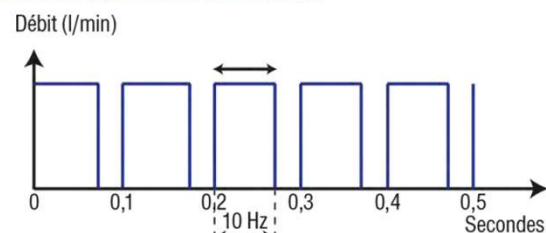


Figure 1 : Volume par hectare distribué par un système PWM fonctionnant en 10 Hz avec un *duty cycle* de 80 %.
80% de Duty cycle = 80% de temps d'ouverture de la buse

Test du système **RAVEN** Hawkeye / octobre 2016

Benjamin Perriot - b.perriot@arvalis.fr
Caroline Desbordes - c.desbordes@arvalis.fr
ARVALIS-Institut du végétal

En moyenne
Volume /ha appliqué compris dans
l'intervalle de +/-5% du **volume cible**

VOLUME APPLIQUÉ : la vitesse d'avancement ne l'affecte pas

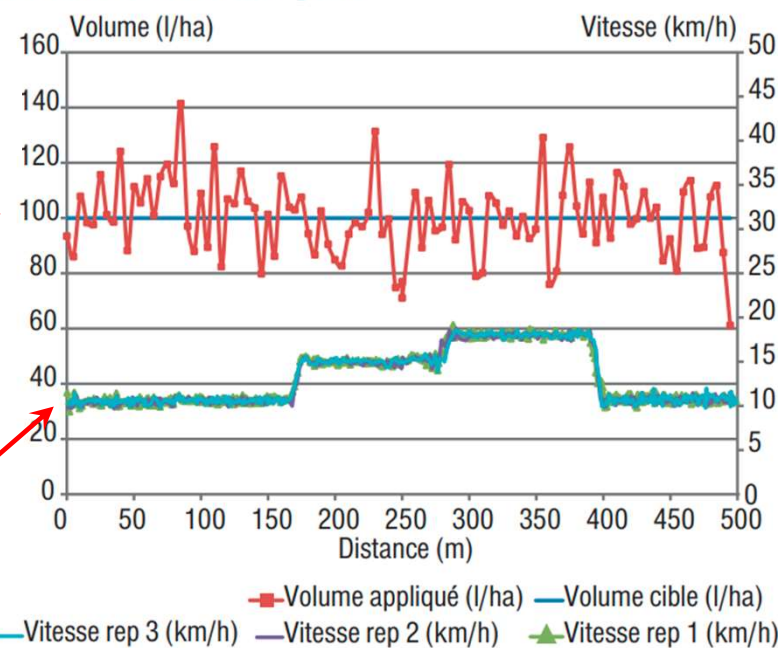
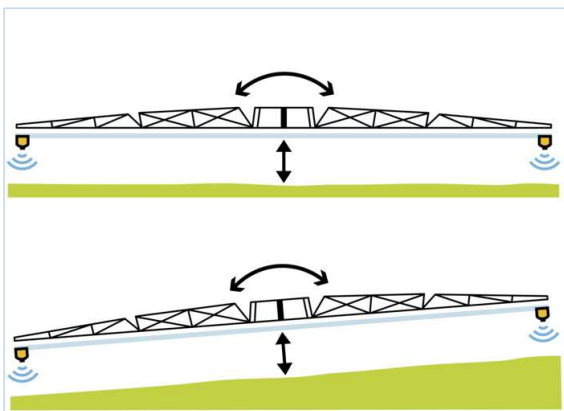


Figure 3 : Volume appliqué lors du changement de vitesse de 10 à 14 km/h, de 14 à 18 km/h puis de 18 à 10 km/h.

2. L'innovation en pulvérisation

Les options associées

- **Ajustement automatique de la hauteur de rampe**
pour **garder constante la hauteur de rampe et s'adapter au terrain**

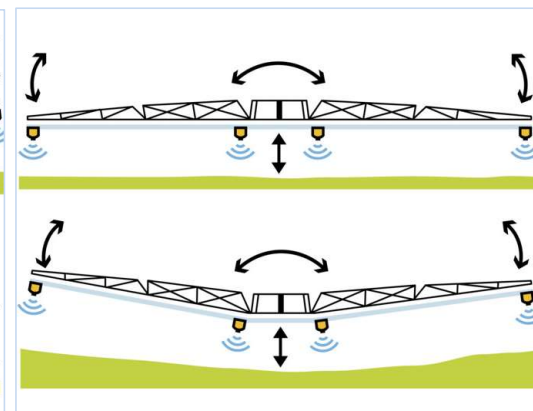
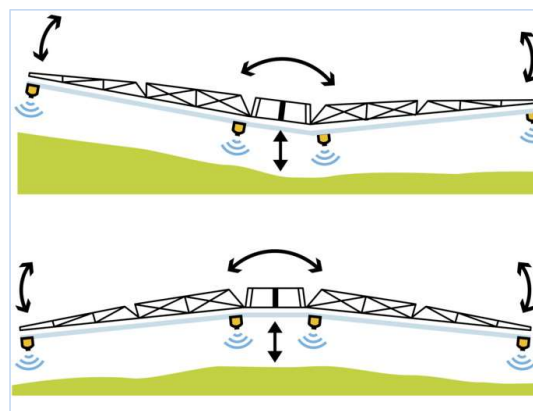


Crédit photos : HORSCH

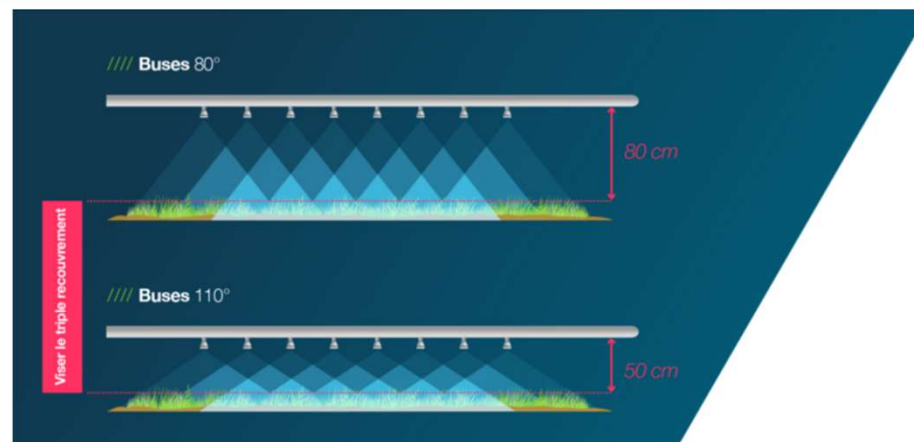
HORSCH

Boom Control

& Boom Control Plus



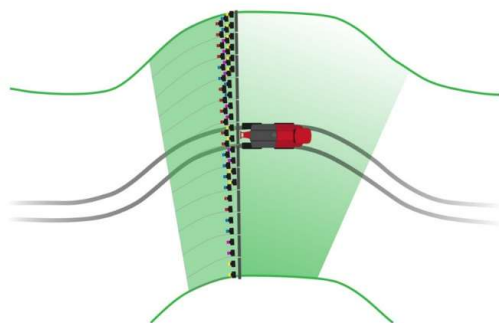
une **hauteur de pulvérisation optimale**
dépendante de l'angle de dispersion des buses



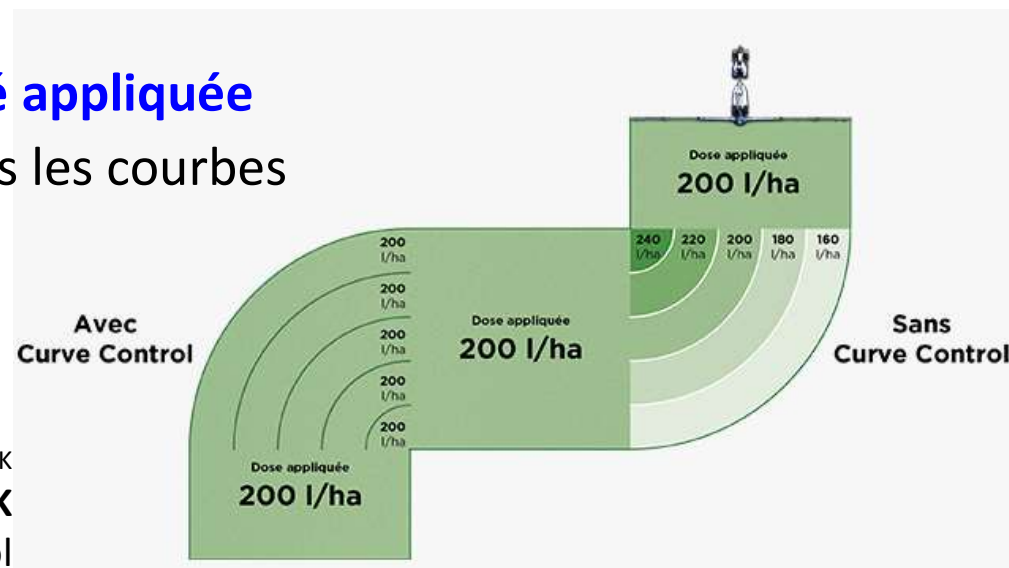
2. L'innovation en pulvérisation

Les options associées

- **Ajustement automatique de la quantité appliquée**
pour **adapter la quantité appliquée** dans les courbes

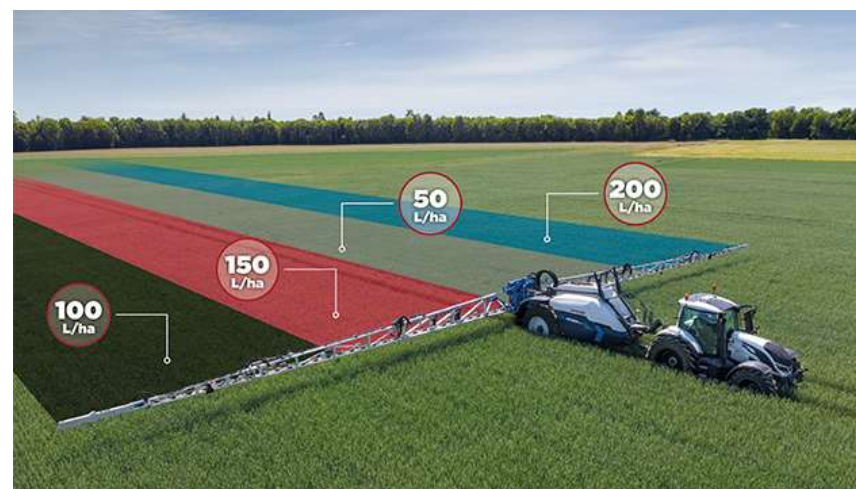


Crédit photo : MULLER ELEKTRONIK
MULLER ELEKTRONIK
Curve Control



Crédit photo : HORSCH
HORSCH
Autoselect Pro

pour **moduler la quantité appliquée**
en fonction de la variabilité intra-parcellaire



La modulation intra parcellaire

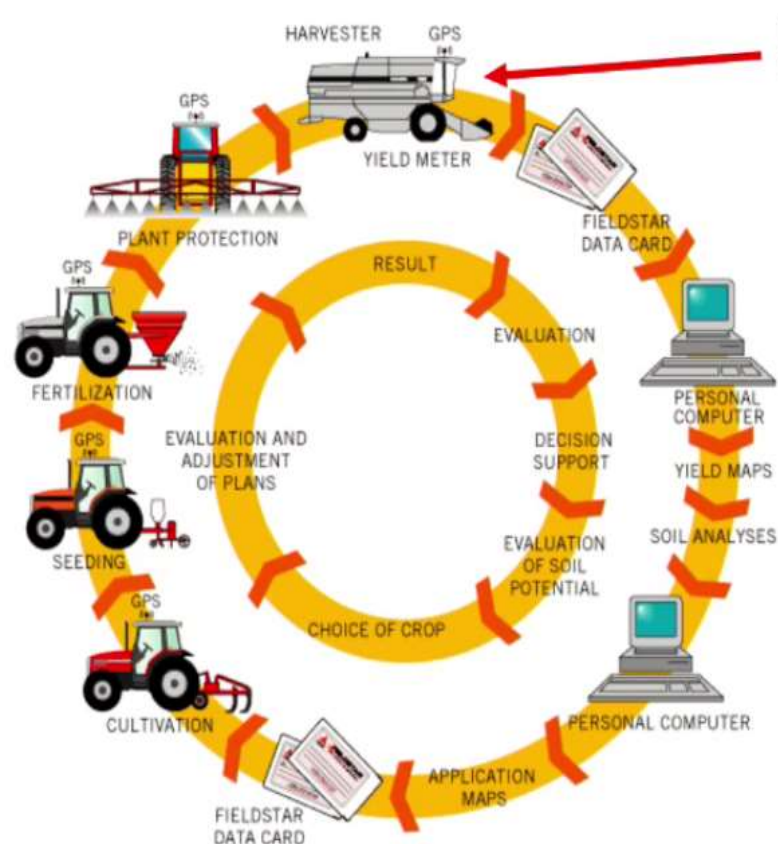
Quelques définitions

- **Agriculture de précision** = Prise en compte de la variabilité intra-parcellaire
« La Bonne Dose, au Bon Endroit, au Bon Moment »
- **Modulation** = Gestion de la variabilité intra-parcellaire

2. L'innovation en pulvérisation

La modulation intra parcellaire

Le cercle de la modulation



1^{er} temps : Mesure
Collecte de données

Variables sol (pH, P, K,...)
IOT (météo, ravageurs,...)
Caméras (hyperspectrales, ..)
Télédétection (Sentinel2A, 2B)

Source de l'illustration : Massey Ferguson / Mark Moore
Thèse Silsoe College : "An Investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management" (1997)

2. L'innovation en pulvérisation

La modulation intra parcellaire

Quels sont les éléments nécessaires pour moduler ?



Carte de modulation

Format papier/smartphone ou numérique



Matériel adapté

Position GPS

Outil(s) adapté(s)

Console(s) adaptée(s)

2. L'innovation en pulvérisation

La modulation intra parcellaire

Quels sont les actions/intrants qu'il est possible de moduler ?

Fertilisation

Densités de semis

Fongicides/régulateurs

Profondeur de travail

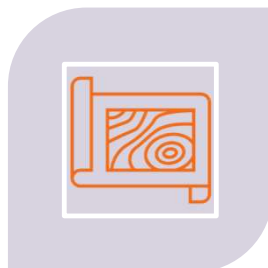
2. L'innovation en pulvérisation

La modulation intra parcellaire

Avec quelles informations de base ?



BIOMASSE



CARTE DES SOLS /
POTENTIEL



ANALYSES DE SOL



CARTES DE
RENDEMENT

2. L'innovation en pulvérisation

Le désherbage ciblé

2 vecteurs principaux de détection



Par caméras montées sur le pulvérisateur

Par drone



2 techniques de détection des adventices



Par Intelligence Artificielle

Par déduction



2. L'innovation en pulvérisation

Le désherbage ciblé

exemple de carte
de frappe



- Images brutes de la parcelle

Morphologie – Couleur

- Carte de présence d'une adventice

Transformation
avec zones tampon

- Carte de frappe
ciblée

Pulvérisation ciblée

carte de frappe

A BRETAGNE - Les Placis

réalisation Chambre d'Agriculture de l'Aisne



2. L'innovation en pulvérisation

Le désherbage ciblé

Compatibilité avec les pulvérisateurs

- Pulvérisateurs équipés d'un GPS et d'une console débloquée pour la modulation et coupure de tronçons
- Format des cartes de frappes ciblées : cartes de modulation, cartes d'exclusion, cartes avec des zones on/off
→ dépend de la marque et du modèle de la console
- Point de vigilance sur les décalages → définition d'une zone tampon

A middle-aged man with a friendly smile stands in a vast field of golden wheat. He is wearing a light-colored baseball cap and a plaid shirt over a white t-shirt. His arms are crossed, and he looks directly at the camera. The background shows a line of trees under a bright sky.

MERCI de votre attention & participation aux échanges